

АНАЛИЗ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛГОРИТМА КАЛМАНОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ БПЛА ПО ДАННЫМ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА RSS

Товкач И. О., аспирант; Жук С. Я., д.т.н., профессор

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,

г. Киев, Украина

В настоящее время развитие технологий построения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), их доступность и массовое использование для решения широкого круга задач привело к появлению нового класса угроз [1]: применение в террористических целях, фотосъемка засекреченных объектов, получение несанкционированного доступа к информации в сетях WLAN, вторжение на запрещенную территорию и др. Это приводит к необходимости разработки систем безопасности, которые решают задачи обнаружения, определения местоположения и параметров движения БПЛА.

При излучении БПЛА сигналов, его местоположение может быть определено с помощью беспроводных сенсорных сетей (БСС) с использованием метода RSS (received-signal strength) [2].

Особенностью современных БПЛА является способность выполнять резкие маневры, а также сохранять неизменным положение в точке пространства. Поэтому важное значение имеет анализ точностных характеристик алгоритма калмановской фильтрации параметров движения БПЛА по данным сенсорной сети на основе метода RSS при различных видах его маневра.

При синтезе алгоритма калмановской фильтрации движение БПЛА в прямоугольной системе координат описывается стохастической динамической системой в дискретном времени вида:

$$u(k) = Fu(k-1) + G\omega(k), \quad (1)$$

где $u(k)$ - вектор состояния, включающий параметры движения БПЛА; F , G - известные матрицы; $\omega(k)$ - некоррелированная последовательность гауссовских векторов.

На основе математического

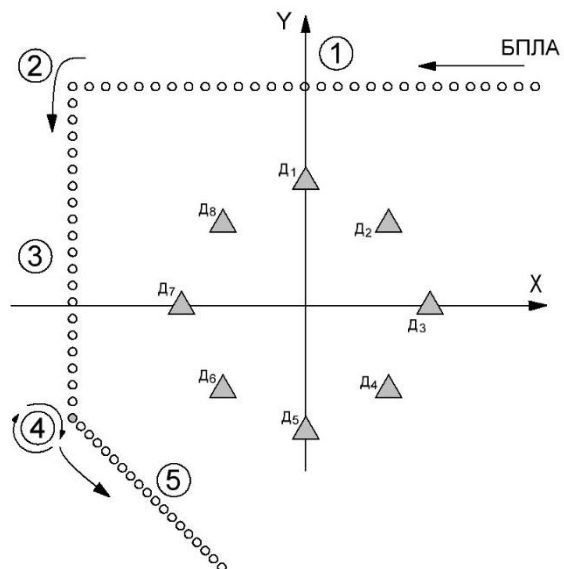


Рис. 1. Конфигурация сенсорной сети из 8 датчиков и траектория движения БПЛА.

аппарата расширенного фильтра Калмана получены алгоритмы траекторной фильтрации БПЛА по данным сенсорной сети на основе измерения мощности принимаемого сигнала для случаев почти равномерного движения (точный фильтр) и движения с маневром (грубый фильтр). Их анализ проведен с помощью статистического моделирования. При этом сенсорная сеть (рис. 1) состоит из восьми датчиков, располагающихся на окружности с радиусом 100 м. Для наглядности работы алгоритмов была сформирована тестовая траектория движения БПЛА, которая включает пять участков (рис. 1). СКО ошибки измерения $\sigma_v = 1$ дБ, темп поступления информации $T=1$ с. Испытания проводились по ста реализациям.

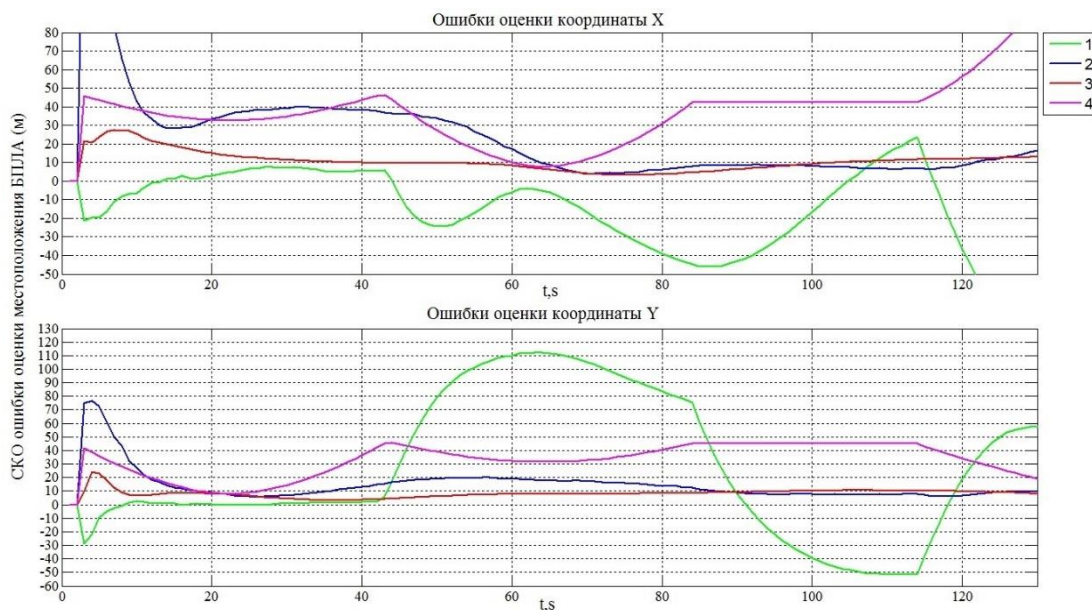


Рис. 2. СКО ошибки оценки местоположения БПЛА на основе точного фильтра

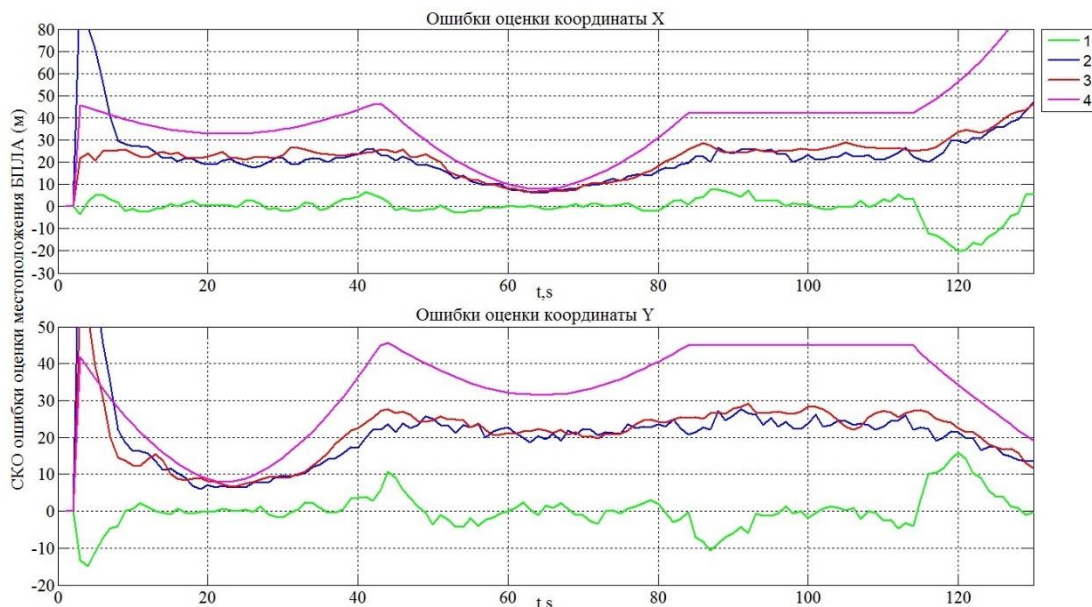


Рис. 3. СКО ошибки оценки местоположения БПЛА на основе грубого фильтра

На рис. 2,3 показаны полученные методом Монте-Карло зависимости математического ожидания (кривая 1) и СКО (кривая 2) ошибок оценки местоположения БПЛА по координатам X , Y , а также СКО (кривая 3) ошибок оценки, рассчитанных соответственно точным и грубым фильтрами. Также на рис. 2,3 показаны зависимости СКО ошибки измерения местоположения БПЛА, которое соответствует нижней границе Рао-Крамера (кривая 4), которая характеризует потенциальную возможную точность определения координат БПЛА.

При использовании точного фильтра ошибки оценки положения БПЛА содержат систематические составляющие, которые более чем на порядок превышает СКО ошибок оценки местоположения, что обусловлено наличием маневров. При использовании грубого фильтра точность оценивания параметров движения БПЛА на участках зависания и движения без маневра больше чем у точного фильтра более, чем в 2-3 раза.

Поэтому важное значение имеет синтез адаптивных алгоритмов фильтрации параметров движения БПЛА по данным сенсорной сети, в которых также выполняется распознавание различных видов его движения.

Перечень источников

1. Защита от дронов – небесный рубеж вашей безопасности [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://dronebouncer.com/>.

2. Товкач И. О. Рекуррентный алгоритм пассивной локации в сенсорной сети на основе измерения мощности принимаемого сигнала / И.О. Товкач, С.Я. Жук // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2016. – № 66. – с. 46-55

Анотація

З використанням математичного апарату розширеного фільтра Калмана синтезовані алгоритми траєкторної фільтрації БПЛА за даними сенсорної мережі на основі вимірювання потужності сигналу для моделей майже рівномірного руху і руху з маневром. Аналіз отриманих алгоритмів виконано за допомогою статистичного моделювання.

Ключові слова: БПЛА, бездротові сенсорні мережі, RSS, фільтр Калмана.

Аннотация

С использованием математического аппарата расширенного фильтра Калмана синтезированы алгоритмы траекторной фильтрации БПЛА по данным сенсорной сети на основе измерения мощности принимаемого сигнала для моделей почти равномерного движения и движения с маневром. Анализ полученных алгоритмов выполнено с помощью статистического моделирования.

Ключевые слова: БПЛА, беспроводные сенсорные сети, RSS, фильтр Калмана.

Abstract

Using the mathematical apparatus of the extended Kalman filter algorithms synthesized trajectory filtering UAV according to the sensor network by measuring the received signal power for the models is almost uniform motion and motion to maneuver. Analysis of the obtained algorithms executed using statistical modeling.

Keywords: UAVs, wireless sensor networks, RSS, Kalman filter.